

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-302124

(P2009-302124A)

(43) 公開日 平成21年12月24日(2009.12.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
HO1L 21/3065 (2006.01)	HO1L 21/302 I O I B	5 F 0 0 4
HO5H 1/46 (2006.01)	HO5H 1/46 M	
	HO5H 1/46 R	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2008-151758 (P2008-151758)
 (22) 出願日 平成20年6月10日 (2008.6.10)

(71) 出願人 000219967
 東京エレクトロン株式会社
 東京都港区赤坂五丁目3番1号
 (74) 代理人 100099944
 弁理士 高山 宏志
 (72) 発明者 河西 繁
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内
 Fターム(参考) 5F004 AA16 BA04 BB11 BB22 BB28
 BB29 BC08 CA06 DA00 DA23
 DB02 DB03 EB01 EB03

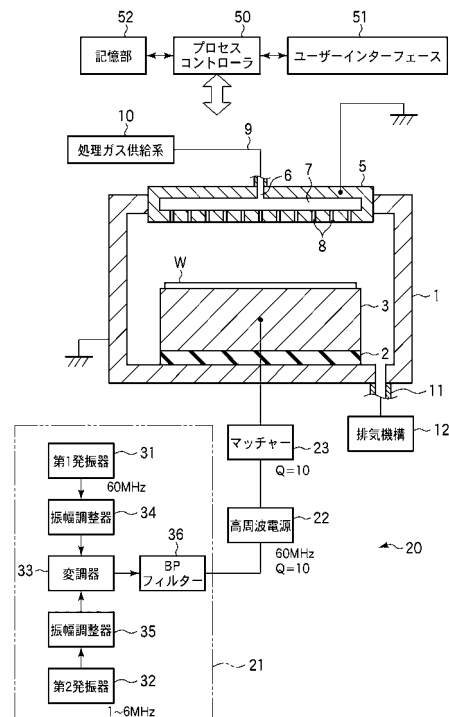
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置および高周波電力供給機構

(57) 【要約】

【課題】装置の小型化および低コスト化が可能であるプラズマ処理装置を提供すること。

【解決手段】チャンバ1と、チャンバ1内に対向して配置される上部電極5およびウエハWを支持する下部電極3と、プラズマ生成用の第1の高周波をイオン加速用の第2の高周波で変調し、変調されて形成された合成波を増幅して得られる高周波電力を下部電極3に印加する高周波電力供給機構20とを具備し、高周波電力供給機構20は、第1の高周波を発振する第1発振器31と、第2の高周波を発振する第2発振器32と、第1の高周波を前記第2の高周波で変調させる変調器33と、変調度を調整する変調度調整部34, 35と、得られた合成波を増幅して所定の高周波電力を生成する高周波電源22と、マッチャー23とを有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被処理基板が収容され、真空排気可能な処理容器と、
 処理容器内に対向して配置される第 1 電極および被処理基板を支持する第 2 電極と、
 プラズマ生成用の第 1 の周波数の第 1 の高周波をイオン加速用の第 2 の周波数の第 2 の
 高周波で変調し、変調されて形成された合成波を増幅して得られる高周波電力を前記第 2
 電極に印加する高周波電力供給機構と

を具備し、

前記高周波電力供給機構は、

前記第 1 の高周波を発振する第 1 発振器と、

前記第 2 の高周波を発振する第 2 発振器と、

前記第 1 の高周波を前記第 2 の高周波で変調させる変調器と、

変調させる際の変調度を調整する変調度調整部と、

所定の変調度で変調されて形成された合成波を増幅して所定の高周波電力を生成する高
 周波電源と、

前記高周波電源とプラズマインピーダンスを整合するためのマッチャーと

を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

10

【請求項 2】

前記第 2 発振器は、周波数可変であることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理
 装置。

20

【請求項 3】

前記変調器は、前記第 1 の高周波を前記第 2 の高周波で振幅変調させることを特徴とす
 る請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記第 1 の周波数は、10 ~ 100 MHz であり、前記第 2 の周波数は、0.1 ~ 10
 MHz であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処
 理装置。

【請求項 5】

前記変調度調整部は、前記第 1 発振器で発振された前記第 1 の高周波の振幅を調整する
 第 1 の振幅調整器と、前記第 2 発振器で発信された前記第 2 の高周波の振幅を調整する第
 2 の振幅調整器とを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載
 のプラズマ処理装置。

30

【請求項 6】

前記高周波電源は、その Q 値が 20 以下であることを特徴とする請求項 1 から請求項 5
 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

真空排気可能な処理容器内に対向して配置される第 1 電極および被処理基板を支持する
 第 2 電極とを有し、第 1 の周波数の第 1 の高周波電力によりプラズマを生成し、第 2 の周
 波数の第 2 の高周波電力によりイオンを加速して被処理基板に対してプラズマ処理を行う
 プラズマ処理装置に用いられる高周波電力供給機構であって、

40

前記第 1 の高周波を発振する第 1 発振器と、

前記第 2 の高周波を発振する第 2 発振器と、

前記第 1 の高周波を前記第 2 の高周波で変調させる変調器と、

変調させる際の変調度を調整する変調度調整部と、

所定の変調度で変調されて形成された合成波を増幅して所定の高周波電力を生成する高
 周波電源と、

前記高周波電源とプラズマインピーダンスを整合するためのマッチャーと

を有し、

プラズマ生成用の第 1 の周波数の第 1 の高周波をイオン加速用の第 2 の周波数の第 2 の
 高周波で変調し、変調されて形成された合成波を増幅して得られる高周波電力を前記第 2

50

電極に印加することを特徴とする高周波電力供給機構。

【請求項 8】

前記第 2 発振器は、周波数可変であることを特徴とする請求項 7 に記載の高周波電力供給機構。

【請求項 9】

前記変調器は、前記第 1 の高周波を前記第 2 の高周波で振幅変調させることを特徴とする請求項 7 または請求項 8 に記載の高周波電力供給機構。

【請求項 10】

前記第 1 の周波数は、10 ~ 100 MHz であり、前記第 2 の周波数は、0.1 ~ 10 MHz であることを特徴とする請求項 7 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の高周波電力供給機構。

10

【請求項 11】

前記変調度調整部は、前記第 1 発振器で発振された前記第 1 の高周波の振幅を調整する第 1 の振幅調整器と、前記第 2 発振器で発信された前記第 2 の高周波の振幅を調整する第 2 の振幅調整器とを有することを特徴とする請求項 7 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の高周波電力供給機構。

【請求項 12】

前記高周波電源は、その Q 値が 20 以下であることを特徴とする請求項 7 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の高周波電力供給機構。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハ等の基板に対してプラズマエッチング等のプラズマ処理を行うプラズマ処理装置およびそれに用いる高周波電力供給機構に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造プロセスにおいて、プラズマの応用は低温化、ドライプロセス化等のための必須技術である。プラズマを用いた処理としては、半導体ウエハ等の基板に形成された所定の層を加工して所定のパターンを形成するプラズマエッチングが多用されている。

30

【0003】

このようなプラズマエッチングを行うためのプラズマエッチング装置としては、種々のものが用いられているが、その中でも容量結合型平行平板プラズマ処理装置が主流である。

【0004】

容量結合型平行平板プラズマエッチング装置は、チャンバ内に一對の平行平板電極（上部および下部電極）を配置し、処理ガスをチャンバ内に導入しつつこれら電極の間に高周波電界を形成して処理ガスをプラズマ化してエッチングするものである。このような平行平板プラズマエッチング装置として、プラズマ生成（電離）のための相対的に高周波の第 1 の高周波電力と、プラズマ中のイオンを加速して基板に引き込むための相対的に低周波の第 2 の高周波電力とを基板を載置する下部電極に印加して、プラズマの密度と電子温度とを制御するものが知られている（例えば特許文献 1）。

40

【0005】

具体的には、図 9 に示すように、チャンバ 101 内の底部に、セラミックス等からなる誘電体板 102 を介して下部電極として機能する半導体ウエハ W を載置するステージ 103 を設け、ステージ 103 に対向して上部電極として機能する接地されたシャワーヘッド 105 を設け、処理ガス供給系 106 からエッチングのための処理ガスをシャワーヘッド 105 を介してチャンバ 101 内に導入するようにし、高周波電力供給機構 110 から下部電極であるステージ 103 に高周波電力が供給される。また、チャンバ 101 の底部に

50

は排気管 116 が接続されており、排気機構 117 により排気管 116 を介してチャンバ 101 内を真空排気可能となっている。

【0006】

高周波電力供給機構 110 は、プラズマ生成用高周波電源 111 と、イオン加速用高周波電源 112 と各高周波電源とプラズマインピーダンスを整合するためのマッチャー 113, 114 と、これら 2 つの高周波電源からの高周波を合成する合成器 115 とを有しており、合成器 115 で合成された高周波電力を下部電極であるステージ 103 に供給する。

【0007】

このような平行平板プラズマエッチング装置においては、チャンバ 101 内にエッチングのための処理ガスを導入しつつ真空排気してチャンバ 107 内を所定の真空度に維持し、プラズマ生成用高周波電源 111 から 60 ~ 100 MHz 程度の周波数の高周波電力を供給し、イオン加速用高周波電源 112 から 1 ~ 6 MHz 程度の周波数の高周波電力を供給して、プラズマエッチングを行う。

【0008】

しかしながら、このような従来の平行平板プラズマエッチング装置においては、大型機器である高周波電源およびマッチャーが 2 つずつ必要であり、装置が大がかりなものとなりまた装置コストも高いものとなる。また、被エッチング膜に対して適切なイオンエネルギーを与えるためには、相対的に低周波数のイオン加速用高周波電源 112 のパワーを調整すればよいが、そのパワーを調整すると、イオン密度も変化してしまう。このような不都合を生じさせないためには、イオン加速用電源の周波数を変更する必要がある。このため、被エッチング材料毎に別々の電源が必要になる。イオン加速用高周波電源 112 として広帯域のものを用いて周波数を可変とすることができるが、このような電源は高価で低効率であり、現実的ではない。

【特許文献 1】特開 2005 - 56997 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、装置の小型化および低コスト化が可能であるプラズマ処理装置およびそれに用いる高周波電力供給機構を提供することを目的とする。

また、このようなことに加え、イオンエネルギーとイオン密度を独立して制御可能なプラズマ処理装置およびそれに用いる高周波電力供給機構を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するため、本発明の第 1 の観点では、被処理基板が収容され、真空排気可能な処理容器と、処理容器内に対向して配置される第 1 電極および被処理基板を支持する第 2 電極と、プラズマ生成用の第 1 の周波数の第 1 の高周波をイオン加速用の第 2 の周波数の第 2 の高周波で変調し、変調されて形成された合成波を増幅して得られる高周波電力を前記第 2 電極に印加する高周波電力供給機構とを具備し、前記高周波電力供給機構は、前記第 1 の高周波を発振する第 1 発振器と、前記第 2 の高周波を発振する第 2 発振器と、前記第 1 の高周波を前記第 2 の高周波で変調させる変調器と、変調させる際の変調度を調整する変調度調整部と、所定の変調度で変調されて形成された合成波を増幅して所定の高周波電力を生成する高周波電源と、前記高周波電源とプラズマインピーダンスを整合するためのマッチャーとを有することを特徴とするプラズマ処理装置を提供する。

【0011】

本発明の第 2 の観点では、真空排気可能な処理容器内に対向して配置される第 1 電極および被処理基板を支持する第 2 電極とを有し、第 1 の周波数の第 1 の高周波電力によりプラズマを生成し、第 2 の周波数の第 2 の高周波電力によりイオンを加速して被処理基板に対してプラズマ処理を行うプラズマ処理装置に用いられる高周波電力供給機構であって、

前記第 1 の高周波を発振する第 1 発振器と、前記第 2 の高周波を発振する第 2 発振器と、前記第 1 の高周波を前記第 2 の高周波で変調させる変調器と、変調させる際の変調度を調整する変調度調整部と、所定の変調度で変調されて形成された合成波を増幅して所定の高周波電力を生成する高周波電源と、前記高周波電源とプラズマインピーダンスを整合するためのマッチャーとを有し、プラズマ生成用の第 1 の周波数の第 1 の高周波をイオン加速用の第 2 の周波数の第 2 の高周波で変調し、変調されて形成された合成波を増幅して得られる高周波電力を前記第 2 電極に印加することを特徴とする高周波電力供給機構を提供する。

【0012】

上記第 1 および第 2 の観点において、前記第 2 発振器は周波数可変であることが好ましい。前記変調器は、前記第 1 の高周波を前記第 2 の高周波で振幅変調させるものであることが好ましい。

10

【0013】

前記第 1 の周波数は、10 ~ 100 MHz であり、前記第 2 の周波数は、0.1 ~ 10 MHz であることが好ましい。

【0014】

前記変調度調整部は、前記第 1 発振器で発振された前記第 1 の高周波の振幅を調整する第 1 の振幅調整器と、前記第 2 発振器で発信された前記第 2 の高周波の振幅を調整する第 2 の振幅調整器とを有する構成とすることができる。

【0015】

前記高周波電源は、その Q 値が 20 以下、例えば 10 程度であることが好ましい。

20

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、第 1 の高周波を第 2 の高周波により変調し、その変調して形成された合成波を増幅した高周波電力を第 2 電極に供給するので、プラズマが形成されている処理容器内で合成波が増幅された高周波電力が復調されプラズマ生成用の第 1 の高周波電力とイオン加速用の第 2 の高周波電力がそれぞれ印加された状態となる。このため、高周波電源およびマッチャーは、合成波に対するものを 1 個ずつ設ければよく、これらが 2 つずつ必要であった従来よりも装置の小型化および低コストかが可能となる。

【0017】

また、変調度を調整することにより第 1 の高周波のパワー（振幅）および第 2 の高周波のパワー（振幅）をそれぞれ別個に調整することができ、プラズマ密度およびイオン密度を所望の値に調整することができる。そして、第 2 の高周波を発振する第 2 発振器は周波数が可変であるため、この周波数を調整することにより、イオンエネルギーをイオン密度と独立して制御することができる。このため、従来異なる装置で行わざるを得なかった、ポリシリコンとシリコン酸化膜等の異なる材料のエッチングを一つの装置で実現することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

40

図 1 は本発明の一実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示す断面図である。このプラズマ処理装置は、被処理基板である半導体ウエハ（以下、単にウエハと記す）の所定の膜をプラズマエッチングするプラズマエッチング装置として構成されている。

【0019】

このプラズマ処理装置は、気密に構成され、ウエハ W が搬入される略円筒状のチャンバ 1 を有している。チャンバ 1 内の底部には、セラミックス等からなる誘電体板 2 を介して下部電極として機能するウエハ W を載置するためのステージ 3 が設けられている。ステージ 3 は、アルミニウム等の金属製であり、上面にウエハ W を静電吸着するための静電チャック（図示せず）が設けられており、また内部に冷却媒体を通流してウエハ W を冷却するための冷却媒体流路（図示せず）が設けられている。

50

【 0 0 2 0 】

チャンバ 1 内の上部には、ステージ 3 に対向して上部電極として機能する接地されたシャワーヘッド 5 が設けられている。すなわち、下部電極として機能するステージ 3 と上部電極として機能するシャワーヘッド 5 とで平行平板電極を構成している。シャワーヘッド 5 は、上部にガス導入口 6 を有し、内部にガス拡散空間 7 を有し、底部に複数のガス吐出孔 8 を有している。ガス導入口 6 にはガス供給配管 9 が接続されており、このガス供給配管 9 の他端にはエッチングのための処理ガスを供給する処理ガス供給系 10 が接続されている。そして、処理ガス供給系 10 からガス供給配管 9 およびシャワーヘッド 5 を介してエッチングのための処理ガスがチャンバ 1 内に供給される。エッチングのための処理ガスとしては、例えば C_4F_8 ガスのようなフロロカーボンガス (C_xF_y) が用いられる。

10

【 0 0 2 1 】

チャンバ 1 の底部には排気管 11 が接続されており、排気管 11 には、真空ポンプや圧力調整バルブ等を含む排気機構 12 が接続されており、この排気機構 12 によりチャンバ 1 内が排気されてチャンバ 1 内が所定の真空度に維持されるようになっている。

【 0 0 2 2 】

下部電極として機能するサセプタ 3 には、高周波電力供給機構 20 が接続されている。この高周波電力供給機構 20 は、プラズマ生成用の相対的に高い周波数である第 1 の周波数の第 1 の高周波を、イオン加速用の相対的に低い周波数である第 2 の周波数の第 2 の高周波で振幅変調 (AM 変調) し、AM 変調された高周波を増幅して形成された高周波電力を下部電極として機能するステージ 3 に印加するものである。AM 変調に際しては、第 1

20

【 0 0 2 3 】

ここで、プラズマ生成用の第 1 の高周波の周波数 (第 1 の周波数) としては、高密度のプラズマを得る観点から、イオンが追従できない高い周波数であることが好ましく、シース厚がさほど変化しなくなる 10 MHz 以上であることが好ましい。しかし、周波数を上げすぎると、電極の大きさが波長に対して無視できなくなり、高周波による定在波が発生し、プラズマ分布を悪化させるおそれがあることから、100 MHz 以下が好ましい。

【 0 0 2 4 】

プラズマのシース厚 S_m は一般に以下の (1) 式で表される。

$$S_m = S_{abs}^{1/8} / \omega^{1/4} \cdot T_e^{5/16} \cdot c^{3/8} \dots (1)$$

30

ただし、 S_{abs} はシース吸収エネルギー、 ω は角周波数、 T_e は電子温度、 c は衝突エネルギーである。

(1) 式から明らかなように、シース厚 S_m は、角周波数 ω の 1/4 乗に反比例することから、周波数が大きくなるほどシース厚は薄くなるが、ある周波数以上ではそれほど変化しなくなる。この周波数は通常 20 ~ 30 MHz とされていることから、10 MHz 以上を好ましい範囲とした。より好ましくは 40 ~ 100 MHz であり、例えば 60 MHz が用いられる。

【 0 0 2 5 】

イオン加速用の第 2 の高周波の周波数 (第 2 の周波数) としては、イオン加速のために適切なプラズマシースを形成する観点から 0.1 ~ 10 MHz の範囲が好ましく、1 ~ 10 MHz 程度がより好ましい。例えば 1 ~ 6 MHz 程度が用いられる。ここでイオンエネルギーを E_{ion} 、印加高周波電圧の振幅を V_{rf} 、印加励起周波数を f とすると、一般に図 2 のような傾向がある。つまり周波数が 1 MHz から 10 MHz の間において大きな変化があり、 V_{rf} を一定に保ち周波数を 1 MHz から 10 MHz まで変えるとイオンエネルギー E_{ion} を正確に制御することができる。

40

【 0 0 2 6 】

高周波電力供給機構 20 は、AM 変調部 21 と、高周波電源 22 と、マッチャー 23 とを有している。AM 変調部 21 は、上記第 1 の高周波を発振する第 1 発振器 31 と、上記第 2 の高周波を発振する第 2 発振器 32 と、第 1 の高周波を第 2 の高周波で変調させる変調器 33 と、変調度を調整するための 2 つの振幅調整器 34, 35 と、特定波長を透過さ

50

せるBP（バンドパス）フィルタ36とを有している。

【0027】

第1発振器31と第2発振器32は、単なる小信号用の発振器であるため、高周波電源のような大がかりな装置構成は不要である。第2発振器32としては周波数可変の発振器、例えばPLL発振器を用い、周波数を例えば1～6MHzの間で可変とする。

【0028】

振幅調整器34は、第1発振器31と変調器33との間に設けられ、第1発振器31で発振された第1の高周波の振幅を調整するものであり、振幅調整器35は、第2発振器32と変調器33との間に設けられ、第2発振器32で発振された第2の高周波の振幅を調整するものである。変調度（減衰比） k は、搬送波である第1の高周波の振幅を A_c 、変調波である第2の高周波の振幅を A_m とすると $k = A_m / A_c$ で表すことができるから、振幅調整器34, 35により振幅を調整することにより変調度を調整することができる。振幅調整器34, 35としては、例えばアッテネータ（減衰器）が用いられる。

10

【0029】

AM変調部21においては、第1発振器31で発振され振幅調整器34で所定の振幅に調整された第1の高周波と、第2発振器32で発振され振幅調整器35で所定の振幅に調整された第2の高周波が変調器33に送られ、変調器33において、第1の高周波が第2の高周波により所定の変調度で変調され、変調されて形成された合成波（AM変調波）は、BPフィルタ36を経て高周波電源22に送られる。

【0030】

高周波電源22は、上記第1の周波数の電源であり、これによりAM変調によって形成された合成波（AM変調波）を増幅して所定の高周波電力を得る。この場合に、後述するように、高周波電源22において、以下の(2)式で表されるQ値を適切に設定することにより、第1の高周波と第2の高周波の合成波（AM変調波）を増幅することができる。

20

$$Q = (\text{蓄えられるエネルギー}) / (\text{消費されるエネルギー}) \dots (2)$$

この場合に高周波電源22のQ値は1以上で20以下であることが好ましく、例えばQ値が10の場合には、第1の高周波の周波数が60MHzのとき、第2の高周波の周波数が1～6MHz程度でAM変調によって形成された合成波を増幅することができる。

【0031】

マッチャー23も高周波電源22と同様のQ値に設定される。すなわち、マッチャー23もQ値が1以上で20以下であることが好ましく、高周波電源22としてQ値が10のものを用いた場合には、マッチャー23もQ値が10のものを用いることが好ましい。

30

【0032】

このようにしてAM変調により形成された合成波（AM変調波）をステージ3に印加することにより、このAM変調波は後述するようにプラズマによって復調され、第1の高周波に基づく高周波電力と第2の高周波に基づく高周波電力がプラズマに印加されることとなる。

【0033】

プラズマ処理装置の各構成部は、図1に示すように、マイクロプロセッサ（コンピュータ）を備えたプロセスコントローラ50に接続されて制御される構成となっている。プロセスコントローラ50には、オペレータがプラズマ処理装置を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザーインターフェース51が接続されている。さらに、プロセスコントローラ50には、プラズマ処理装置で実行される各種処理をプロセスコントローラ50の制御にて実現するための制御プログラムや、処理条件に応じてプラズマ処理装置50の各構成部に処理を実行させるためのプログラムすなわち処理レシピを格納することが可能な記憶部52が接続されている。処理レシピはハードディスクのような固定的な記憶媒体に記憶されていてもよいし、CDROM、DVD等の可搬性の記憶媒体に収容された状態で記憶部52の所定位置にセットするようになっていてもよい。さらに、他の装置から、例えば専用回線を介してレシピを適宜伝送させるようにしてもよい。そして、必要に

40

50

応じて、ユーザーインターフェース 51 からの指示等にて任意の処理レシピを記憶部 52 から呼び出してプロセスコントローラ 50 に実行させることで、プロセスコントローラ 50 の制御下で、プラズマ処理装置での所望の処理が行われる。

【0034】

次に、このように構成されるプラズマ処理装置の処理動作について説明する。

まず、図示しない搬入出口からチャンバ 1 内にウエハ W を搬入し、ステージ 3 の上に載置する。そして、排気機構 12 によりチャンバ 1 内を排気しつつ処理ガス供給系 10 からエッチングのための処理ガスをシャワーヘッド 5 を介してチャンバ 1 内に導入し、高周波電力供給機構 20 により第 1 の高周波が第 2 の高周波により AM 変調された高周波電力をステージ 3 に印加し、プラズマを生成する。この際に、ステージ 3 の上面に設けられた静電チャック（図示せず）によりウエハ W を静電吸着する。

10

【0035】

高周波電力供給機構 20 の AM 変調部 21 においては、第 1 発振器 31 で発振された第 1 の高周波と第 2 発振器 32 で発振された第 2 の高周波とを、それぞれ振幅調整器 34, 35 により振幅調整しつつ変調器 33 で合成して、第 1 の高周波を第 2 の高周波により AM 変調する。そして、BP フィルター 36 により必要な帯域の周波数のみを通過させ、通過した AM 変調波を高周波電源 22 に入力する。

【0036】

ここで搬送波である第 1 の高周波 v_c は、図 3 に示すようになり、以下の (3) 式で表すことができる。

20

$$v_c = A_c \cos(t + \theta_0) \dots \dots (3)$$

ただし、 A_c は搬送波の振幅、 ω_c は搬送波の角周波数、 θ_0 は搬送波の位相である。

【0037】

また、変調信号である第 2 の高周波 v_m は、図 4 に示すようになり、以下の (4) 式で表すことができる。

$$v_m = A_m \cos p t \dots \dots (4)$$

ただし、 A_m は変調信号の振幅、 p は変調信号の角周波数である。

【0038】

さらに、AM 変調した場合の合成波 (AM 変調波) $v_{AM}(t)$ は、図 5 に示すようになり、以下の (5) 式に示すようになる。

30

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) &= (A_c + A_m \cos p t) \cos(t + \theta_0) \\ &= A_c (1 + k \cos p t) \cos(t + \theta_0) \dots (5) \end{aligned}$$

ただし、 $k = A_m / A_c$ は変調度 (減衰比) である。

【0039】

上記 (5) 式を展開すると以下の (6) 式となり、さらに展開すると (7) 式になる。

$$v_{AM}(t) = A_c \cos(t + \theta_0) + k A_c \cos p t \cdot \cos(t + \theta_0) \dots (6)$$

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) &= A_c \cos(t + \theta_0) + \\ &\quad (1/2) k A_c \cos[(+p)t + \theta_0] + \\ &\quad (1/2) k A_c \cos[(-p)t + \theta_0] \dots (7) \end{aligned}$$

40

【0040】

(7) 式に示すように AM 変調波 $v_{AM}(t)$ は、搬送波： $A_c \cos(t + \theta_0)$ 、上側波： $(1/2) k A_c \cos[(+p)t + \theta_0]$ 、下側波： $(1/2) k A_c \cos[(-p)t + \theta_0]$ の 3 つの成分になる。このときの AM 変調波 $v_{AM}(t)$ のスペクトルは、図 6 に示すようになる。

【0041】

図 6 から明らかなように、AM 変調することにより $(+p) - (-p) = 2p$ の帯域を確保すれば増幅およびマッチングすることができる。ここで、変調信号の周波数を f_m とすると $p = 2 f_m$ となるから、半値幅 B は、以下の (8) 式で表すことができる。

$$B = 2 f_m = f_{BW} \dots \dots (8)$$

50

ただし、 f_{BW} は、占有周波数帯域である。

【0042】

搬送波の周波数を f_0 とすると、 Q 値は以下の (9) 式で表すことができる。

$$Q = f_0 / f_{BW} \quad \dots \dots (9)$$

【0043】

ここで搬送波の周波数 f_0 を 40 MHz 、 f_{BW} を 2 MHz とすると、 $Q = 40 / 2 = 20$ となり高周波電源 22 およびマッチャー 23 の Q 値を 20 以下にすればよいこととなる。

【0044】

高周波電源およびマッチャーは、 Q 値が高いほど高精度であるが、通常、安定性を考慮して $Q = 10$ 程度とする。このため、高周波電源 22 として増幅動作 (A 級、B 級等) に捉われることなく一般的なものを用いることにより、またマッチャー 23 として L と C からなる汎用的なものを用いることにより、本実施形態で意図する AM 変調波を増幅することができる。

10

【0045】

高周波電源 22 で増幅されて形成された高周波電力は、チャンバ 1 の中において、 60 MHz 程度の相対的に高い周波数の第 1 の高周波 (搬送波) の成分 () では、イオンおよび電子とも電界の変化に追従することができないのに対し、 $1 \sim 10 \text{ MHz}$ 程度の相対的に低い周波数の第 2 の高周波 (変調信号) の成分 (p) では、イオンは電界の変化に追従できないが電子は追従することができるのでプラズマ電位が発生し、シースに電界がかかりイオンを加速することができる。この時のプラズマの等価回路は、図 7 に示すように、シース部分がダイオードとコンデンサからなるものとなり、ダイオードによる非線形成分により非線形復調 (ダイオード復調) が達成され、チャンバ 1 内で AM 変調波を復調することができる。

20

【0046】

したがって、プラズマのシース部分には、第 2 の高周波成分である $\cos pt$ と DC 成分が残り、その結果、 p 角速度に励起されたイオンがシース部分で加速され、それを使用して物理エッチングを行うことができる。ここで図 8 を参照して本実施形態のプラズマエッチングのメカニズムを被エッチング材料を熱酸化膜 SiO_2 として説明する。まず C_xF_y 系のガスと Ar など不活性ガスの混合ガスによりプラズマが生成され、C、F、CF 等の活性粒子が SiO_2 面に吸着される (図 8 (a))。その後運動エネルギーをもった Ar イオンが SiO_2 面に衝突してこの部分の温度が上昇し、これにより SiO_2 とこれら活性粒子が化学反応を起こし、 SF_4 、CO、および CO_2 等が形成される (図 8 (b))。これらの反応副生成物は数 mTorr の環境下ではガスとなり排気管 11 を通して排気され、 SiO_2 膜はエッチングされる (図 8 (c))。ここで活性粒子と SiO_2 との化学反応において、その反応スピードは温度によって変化する。図 8 におけるプラズマエッチングにおいて、 SiO_2 膜と Low-k 膜のエッチング選択比を上げるためには、 SiO_2 膜がエッチングされ易く、Low-k 膜がエッチングされ難い温度に Si 基板の温度を維持する必要があるが、この温度は Ar イオンのエネルギーによって定まる。本実施形態においては、選択比を上げるためにイオンエネルギーを制御し、すなわち例えば第 2 の高周波の振幅 A_m を一定としつつ周波数を制御し、エッチングレートを上げるために第 1 の高周波の振幅 A_c を一定としたまま変調度 k を大きくする。

30

40

【0047】

以上のように、本実施形態によれば、AM 変調部 21 で第 1 の高周波を第 2 の高周波で AM 変調し、その AM 変調波を増幅した高周波電力をチャンバ 1 内で復調するので、高周波電源およびマッチャーは、AM 変調波に対するものを 1 個ずつ設ければよく、これらが 2 つずつ必要であった従来よりも装置の小型化および低コストかが可能となる。

【0048】

また、AM 変調部 21 で変調度を調整しつつ第 1 の高周波を第 2 の高周波で変調するので、高周波電源 22 で増幅し、チャンバ 1 内で復調した際における第 1 の高周波のパワー

50

(振幅)および第2の高周波のパワー(振幅)をそれぞれ別個に調整することができ、プラズマ密度およびイオン密度を所望の値に調整することができる。そして、第2の高周波を発振する第2発振器32は周波数が可変であるため、この周波数を調整することにより、イオンエネルギーをイオン密度と独立して制御することができる。このため、従来異なる装置で行わざるを得なかった、ポリシリコンとシリコン酸化膜等の異なる材料のエッチングを一つの装置で実現することができる。

【0049】

なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく、種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態では、第1の高周波を第2の高周波で変調させる際に振幅変調(AM変調)を用いたが、周波数変調(FM変調)や位相変調(PM変調)等、他の変調を用いることもできる。

10

【0050】

また、上記実施形態では、プラズマ処理としてプラズマエッチングを例にとって説明したが、他のプラズマ処理であってもよい。さらに、被処理体についても、半導体ウエハに限らず、FPD用ガラス基板などの他のものを対象にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】本発明の一実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示す断面図。

【図2】イオンエネルギーの周波数依存性を示す図。

【図3】第1の高周波(搬送波)の波形を示す図。

20

【図4】第2の高周波(変調波)の波形を示す図。

【図5】第1の高周波を搬送波とし、第2の高周波を変調信号としてAM変調した場合の合成波(AM変調波)の波形を示す図。

【図6】図5のAM変調波のスペクトルを示す図。

【図7】プラズマの等価回路を示す図。

【図8】エッチングのメカニズムを示す図。

【図9】従来の平行平板プラズマ処理装置の一例を示す断面図。

【符号の説明】

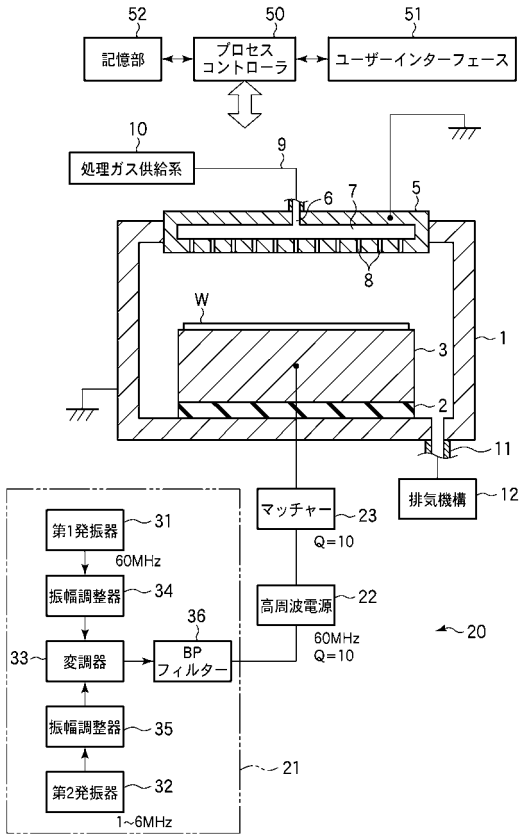
【0052】

- 1 ; チャンバ
- 3 ; ステージ(下部電極)
- 5 ; シャワーヘッド(上部電極)
- 10 ; 処理ガス供給系
- 12 ; 排気機構
- 20 ; 高周波電力供給機構
- 21 ; AM変調部
- 22 ; 高周波電源
- 23 ; マッチャー
- 31 ; 第1発振器
- 32 ; 第2発振器
- 33 ; 変調器
- 34 , 35 ; 振幅調整器
- 36 ; BPフィルター
- 50 ; プロセスコントローラ
- 52 ; 記憶部
- W ... 半導体ウエハ(被処理基板)

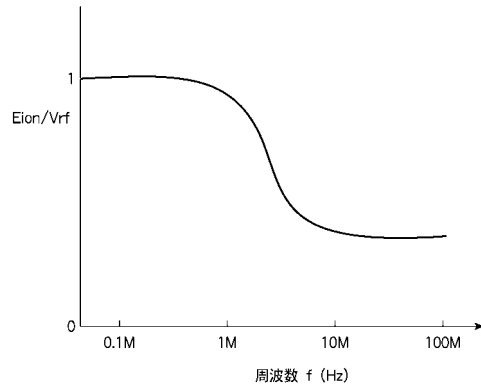
30

40

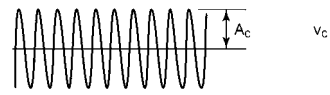
【 図 1 】



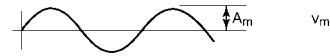
【 図 2 】



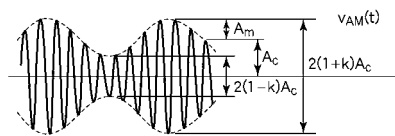
【 図 3 】



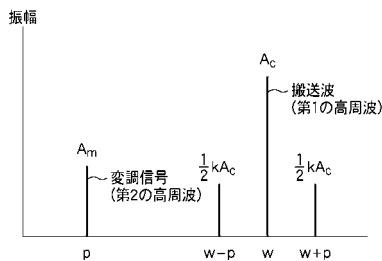
【 図 4 】



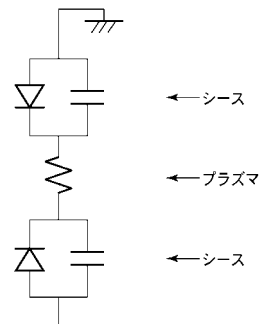
【 図 5 】



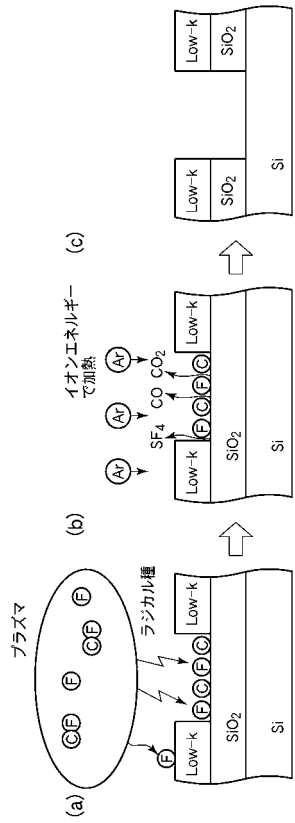
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

